

鬱陵島 北部 알카리 火山岩類에 對한 岩石學的 研究

金允圭* · 李大聲*

Petrology of Alkali Volcanic Rocks in Northern part of Ulrung Island

Yoon Kyu Kim · Dai Sung Lee

Abstract: The study revealed that the sequence of volcanism in Ulrung island can be classified into 5 stages, and the volcanic history is summerized as follow: 1st stage: Eruption of basaltic agglomerates, tuffs and lavas, 2nd stage: Eruption of trachytic and trachyandesitic agglomerates and tuffs, 3rd stage: Eruption of trachyte lavas and their lapilli tuffs, 4th stage: Eruption of trachyte lavas and nepheline phonolites, 5th stage: Eruption of pumice, trachytic ash and lapilli, and plutonic ejecta (fragments of alkali gabbro, monzonite and alkali feldspar syenite) and a subsequent caldera formation. Finally, a small scale eruption of leucite bearing trachyandesite lava in the caldera.

Several evidences show that there have been long erosional intervals between the 1st and 2nd stages and between the 4th and 5th stages. A K-Ar age for trachybasalt lava of the 1st stage was determined to be 1.8 Ma, and a C¹⁴ age, 9300Y. (Machida, 1981) is available for these volcanic events. Therefore, it is considered that volcanic activity of the island above sea level began at least in early Pleistocene, and continued to until 9300 years ago exploding large amount of pumice, prior to pouring out of leucite bearing trachyandesite from the inner caldera. Using solidification index (SI) of Kuno, microscopic texture and mineral composition as criteria of the classification, the volcanic rocks are classified into alkali basalt, trachybasalt, trachyandesite, trachyte and phonolite. These are mostly prophyrific in texture. Main constituent minerals of alkali basalt and trachybasalt are plagioclase, olivine, Ti-augite and magnetite. Principal minerals of trachyandesite are plagioclase, anorthoclase, clinopyroxenes, kaersutite, biotite and magnetite. Trachyte and phonolite consist mainly of anorthoclase, clinopyroxene and magnetite, showing typical trachytic texture in groundmass. In solidification index, alkali basalt ranges from 39 to 27, trachybasalt 17 to 14, trachyandesite 12 to 9 and trachyte 8.15 to 0.72.

A trend of compositional variation showing a typical alkali volcanic rock series is revealed on SiO₂-oxides and SI-oxides diagrams. In SiO₂-total alkali diagram, alkali lime index and An-Ab³-Or diagram, the samples fall into the fields of potassic series of the alkali volcanic rock series, whereas in A-F-M diagram show a trend toward the alkali enrichment with a curve approaching toward the iron apex.

In particular, trachybasalt lavas in this island have higher total iron contents which is comparable to alkali rocks in other areas, e. g. as Gough and Tristan volcanic islands located near the Mid-Oceanic ridge in South Atlantic Ocean.

I. 序 言

본 연구지역은 “環東海 알카리 岩石區”(T, Tomita, 1934)에 속하는 제 4기 알카리 火山岩類로 구성된鬱陵島 북부(동경 130°47'30"~130°56'00", 북위 37°30'

00"~37°33'00")를 대상으로 다음과 같은 사항을 중점으로 하여 연구하였다.

1. 야외조사와 현미경관찰에 의해 이들의 分布와 相互關係를 규명한다.
2. 火山岩類를 모드조성, 組織, 化學성분에 의해 분류한다.
3. 代表岩石의 化學분석과 노름계산으로 근원 마그마의 特性과 分化傾向을 밝힌다.
4. 궁극적으로 이들의 산출에 대한 이론적 타당성을 고

*연세대학교 지질학과(Department of Geology, Yonsei University Seoul, 120 Korea)

찰한다.

본 지역에 대해서는 Tsuboi(1920)가 羅里盆地내 알봉에서 산출된 솜 白榴石岩(Vulsinitic vicoite)을 기재했고, 1981년에는 白榴石의 성인에 대한 이론적 연구를 했다. Harumoto(1931, 1936)는 본역에서 발견된 화산호출물을 Sanidinite 로 기재했고 이들 암석내에 포함된 캐르슈타이트 각섬석과 피콘휘석에 대한 광물학적 연구를 실시했다. 그후李大聲((1954), Harumoto(1970), 및 원 중관(1981, 미발표)등에 의해서 岩石學的 및 岩石化學的 연구가 실시된 바 있다. 본 연구에서는 이 지역의 화산암류의 암석학적 특징, 상호관계, 分化傾向을 연구함으로써 궁극적으로 알카리 화산암류의 成因을 규명하는데 기여할 하나의 資料를 제공하고자 한다.

II. 一般地質

II-1 울릉도 화산체와 지질개요

동해저의 본도는 높이가 약 2000 m의 해산을 이루며 본도 최고점인 성인봉이 海拔 984 m 이므로 산체의 海底面부터의 높이는 약 3 km 에 達하고 基底의 直徑은 30 km 의 火山體로 추측된다.

이로 보아 울릉도의 화산체는 해수면하가 아스피데형에 속하는 것으로 생각된다. 海水面上은 東西가 12 km, 南北이 10 km 이고 面積은 73 km² 이다.

해수면 아래를 제외한 본도의 火山活動은 주로 野外에서의 產出狀態에 의해 크게 5기의 火山活動期로 구분된다.

제 1 期은 다량의 玄武岩質 岩片을 함유하는 玄武岩質 集塊岩으로 構成되며, 부분적으로 連續性이 없는 粗面玄武岩流를 형성한다. 玄武岩質 集塊岩層은 대부분 붉게 酸化되어 있으며 粗面玄武岩流는 다소 新鮮하다. 이들은 南陽洞이나 亭洞에서는 玄武岩質 岩脈에 의해 貫入되며 이들과 粗面岩質 集塊岩에 의해 被覆된다.

제 2 期은 粗面岩質 및 粗面安山岩質 集塊岩과 火山礫質 凝灰岩으로 構成되며 玄武岩質 集塊岩 상부에 놓인다. 下部에서는 많은 玄武岩質 岩片이 포함되지만 상부로 갈수록 그 量이 減小되고 凝灰岩의 薄層이 夾在된다. 또한 본암은 노인봉, 초봉, 내수전 일대에서 많은 粗面岩質 岩脈에 의해 貫入된다. 이들 岩脈들은 上部 제 3 期 粗面岩流로는 연장되지 않으며 傾斜는 거의 垂直에 가깝고 走向은 대체로 東西, 北西-南東 방향이 優勢하다. 제 1 期 玄武岩類가 심한 浸蝕이나 風化에 의해 주로 底地를 이룬 풍화면 위를 본암이 덮고 있으나, 岩質이나 化學成分上的 현격한 차이는 제 1

期과 제 2 期 사이에 시간적인 간격이 큰것으로 說明된다.

제 3 期은 북쪽사면에 발달한 粗面岩質 熔岩類를 噴出시킨 火山活動으로 粗面岩流의 上部에는 얇은 凝灰岩層이 당시의 지형을 따라 형성되는데 이것이 제 4 期의 粗面岩類와 구별이 되는 기준이 된다.

제 4 期은 제 3 期의 粗面岩類의 噴出에 이어 羅里盆地를 火口로 하는 中心噴出에 의한 것으로 생각되는 다량의 粗面岩質, 포노라이트질 熔岩流를 噴出시킨 時期이다. 이들은 柱狀節理가 특징이고, 주로 無斑岩質 粗面岩類로 構成된 하부와, 淡灰色의 長石斑晶의 含有量이 많은 粗面岩類로 構成된 상부로 구분지을 수 있으나 지역에 따라서는 이들의 구분이 용이하지 않다. 또한 초봉의 포노라이트는 조면 암류와 직접적인 接觸部가 없어 이들간의 관계는 확실치 않다.

제 5 期은 추산부근에서 소규모의 해안단구층의 발달과 함께 粗面岩質 浮石 및 火山礫, 火山灰등의 火山碎屑層은 본도 거의 전역에 걸쳐 최상부에 얇게 분포하고 현지면과 거의 일치하는 층리를 보인다. 이들 火山碎屑物의 분출에 이어 칼데라가 형성되면서 粗面岩質 岩片, 火山砂 및 火山灰등이 칼데라내에 퇴적되었다. 분지내 알봉에서는 화산활동의 최종 산물로 생각되는 솜 白榴石 粗面安山岩이 산출된다.

본도 화산암류의 지질시대는 옥천동 해안가에 노출된 제 1 기의 粗面玄武岩流(#5)의 K-Ar 연대가 1.8±0.7 Ma. 으로 Harland 등(1964)의 지질시대 분류표에 의하면 Pleistocene 에 해당되며 현무암질 集塊岩이 포함하고 있는 알카리 橄欖石 玄武岩(#6)의 岩齡이 2.7±0.9Ma. 으로 Pliocene 에 해당된다. 또한 H. Machida (1981)에 의하면 일본 서남부에 퇴적된 본도의 Tephra fall deposits 의 Radio carbon age 는 9300년으로 측정되었다. 따라서 본도의 해수면상의 화산활동은 Pleistocene-Holocene 에 걸치는 일련의 과정으로 추정된다.

상기에 의한 본도의 화산암류의 지질계통 및 화산층서는 다음 표 1과 같으며 이의 지질도는 Fig. 1에 나타나있고 시료 채취지점은 Fig. 2에 표시되어 있다.

II-2 火山活動相

제 1 活動相 : 이는 玄武岩質 集塊岩과 玄武岩質 凝灰岩의 분출로서 테하동, 현포동의 일부, 내수전-와달리지역을 따라 유출된 암체 내에 감람석 玄武岩 및 티탄휘석 玄武岩의 岩片을 다량 함유하고 있으며 이들이 해안 저지를 따라 국부적으로 노출되어 있는 것으로 보아 해저 2000m 이상의 해저산체를 이루며 곳에 따라서는 水中堆積物일 가능성을 암시한다. 또한 노인봉 부근의 현무암질 집괴암층은 대부분이 붉게 산화되어

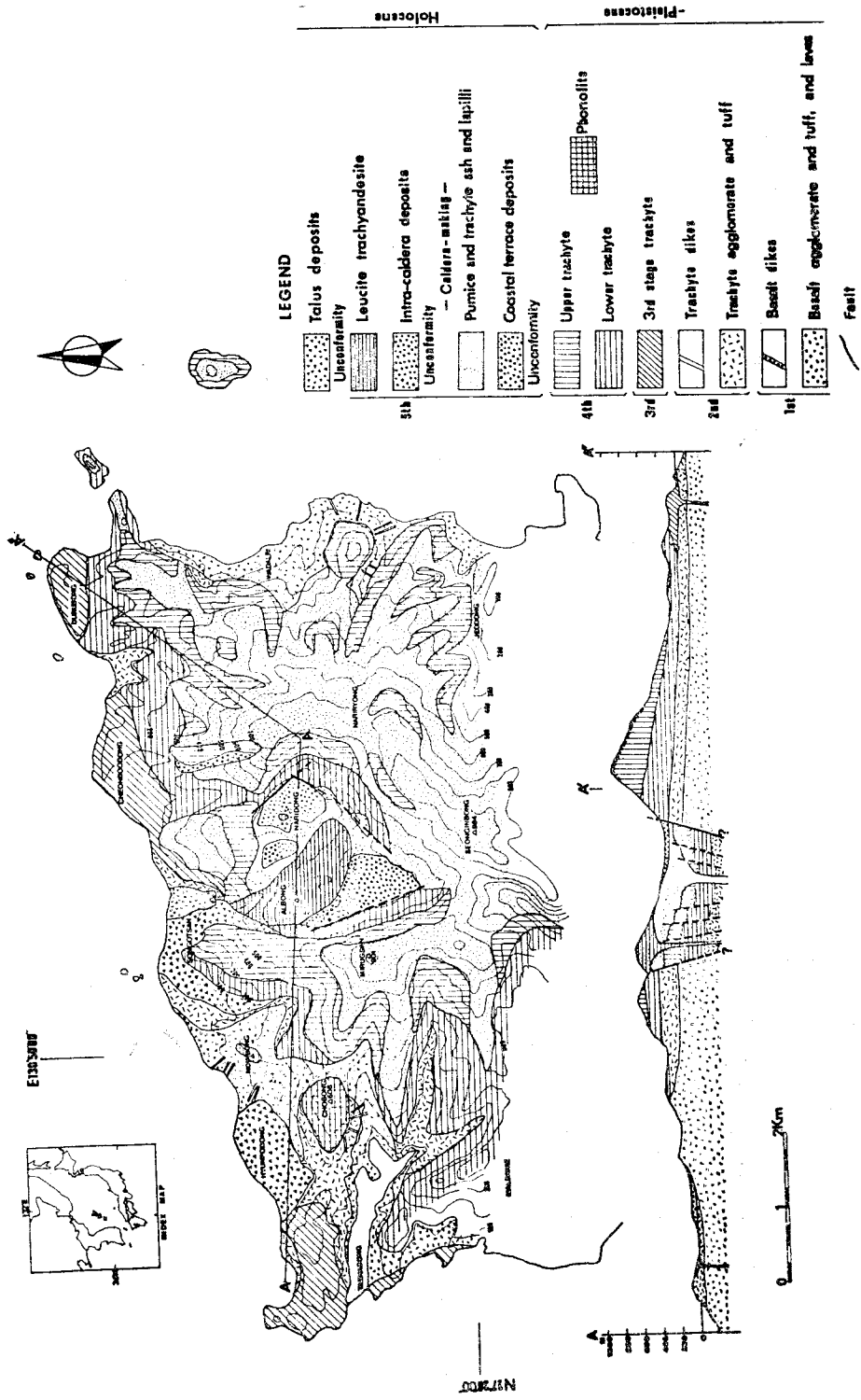


Fig.1 Geological map of Northern part of Ulrung Island.

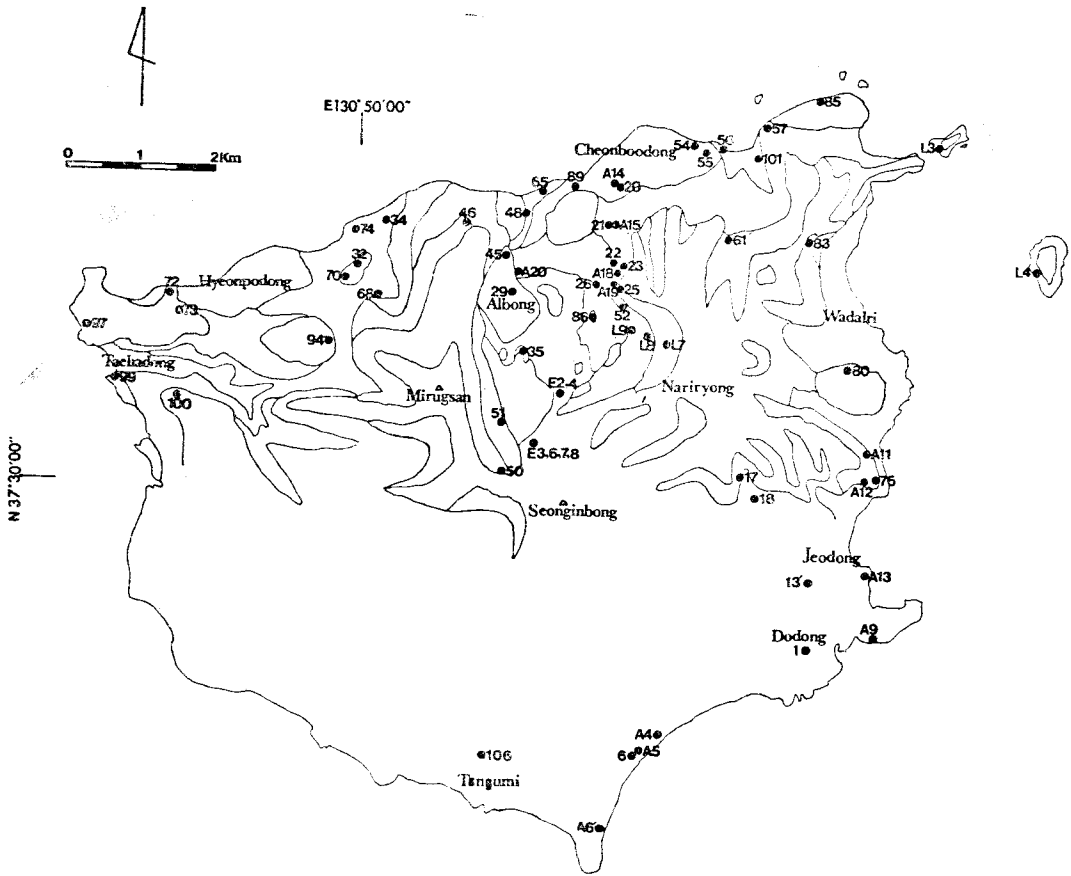


Fig. 2 Location map of samples from the Ulrung Island.

Stage	Samples	
5th stage	13', 18, 29, 35, 45, 86, E-2, E-3, E-4, E-6, E-7, E-8	
4th stage	upper	1, 17, 25, 26, 50, 61, 76, 80, 83, L-4, L-7, A-b', A-9, A-11, A-12, A-13, A-20
	lower	21, 22, 23, 32, 46, 51, 52, 57, 70, 100, L-3, L-8, L-9, A-15, A-18, A-19
3rd stage	20, 54, 55, 72, 73, 85, 89, 97, 99, A-14	
2nd stage	48, 56, 65, 101	
1st stage	6, 34, 68, 74, 106, A-4	

94

있는데 이는 화도가 열렸을때 해수의 주입으로 분출과 산화작용이 병행된 결과로 생각된다. 그후 이들 염기 성암체는 현무암질 암맥에 의해서 관입되나 본역에서는 관찰되지 않고 남양동 및 저동에서는 여러곳에서 볼 수 있다.

제 2 活動相 : 이의 火山岩類는 향목령일대, 평리, 추

산, 죽암등지에 유출된 용암으로 玄武岩質 集塊岩 上部에 놓인다. 광암이나 평리계곡에서는 다량의 현무암질 암편을 포함하며, 조면암질 암맥에 의해 관입당했다.

죽암, 추산과 동쪽해안에서는 제 1 期의 玄武岩質 集塊岩 上部에서 이들 암류는 분포하지 않으며 층후의 변화가 심해 향목령에서는 약 300 m 이상의 두께를 갖기

Table 1. 地質系統 및 火山層序

제 5 期	데일러스	Holocene
	~~~~不整合~~~~	
	含白榴石 粗面安山岩	
	내칼데라 堆積層	
	~~~~不整合~~~~	
제 4 期	칼데라 形成	Pleistocene
	浮石 및 粗面安山岩質, 火山礫質 凝灰岩과 凝灰岩	
~~~~不整合~~~~		
제 3 期	粗面岩類 및 포노라이트	
제 2 期	粗面岩質 集塊岩과 火山礫質 凝灰岩類	
	粗面岩類	
제 1 期	粗面岩質 岩脈	
	一貫 入—	
제 1 期	粗面岩質 및 粗面安山岩質	
	集塊岩과 火山礫質 凝灰岩類	
제 1 期	玄武岩質 岩脈	
	一貫 入—	
제 1 期	玄武岩, 玄武岩質 集塊岩과	
	火山礫質 凝灰岩類	

도 한다.

이 活動에 의한 주요 구성암석은 黑雲母—角閃石 粗面安山岩, 含斜長石 에지린—오자이트 粗面岩 및 黑雲母 粗面岩이다.

제 3 活動期 : 이때 두루봉, 천부동, 향목동 지역에서 해안을 따라 粗面岩類와 凝灰岩類를 분출시켰다. 이는 향목동에서 약 300 m, 천부동, 두루봉에서는 100-200m 두께의 돔을 이루었다.

이 活動에 의한 조면암류의 상부에 火山礫質 凝灰岩層이 얇게 협재되는데 이 응회암층이 본 암류와 제 4 기의 조면암류를 구분하는 기준이 된다. 그러나 지역에 따라서는 응회암층이 협재되지 않는 곳도 있다.

본기의 구성암석은 에지린—오자이트 粗面岩, 黑雲母 혹은 角閃石 粗面岩으로 구성되어 있다.

제 4 活動相 : 본기는 제 3 기에 이어 다량의 조면암질, 포노라이트질 용암의 분출기로 그 범위는 해수면상 본도의 骨格을 이루었다.

원 중관교수는 이 活動에 의한 조면암을 주상절리가 특징인 대등粗面岩과 그렇지 않은 관모봉粗面岩으로 구분한바 있다. 노인봉, 구명바위 등 본역 북쪽에서는 주상절리가 우세하며 평리(해발고도 200 m)에는 해식면이 본암내에 발달되어 있다.

주 구성암석은 하부가 흑운모—각섬석 조면안산암, 함사장석 에지린—오자이트 조면암, 에지린—오자이트

조면암, 각섬석 조면암, 치밀하고 거의 無斑晶質 粗面岩으로 접이한다. 상부는 함사장석 에지린—오자이트 조면암, 에지린—오자이트 조면암, 흑운모 혹은 각섬석 조면암으로 구성되어 있다.

제 5 活動相 : 이는 제 4 기의 비교적 조용한 粗面岩質 熔岩의 噴出에 이어 본도 중앙화도를 따라 강력하고 폭발적인 粗面岩質 浮石, 火山礫 및 火山灰등 다량의 火山쇄설물을 분출시켰다. 이들은 본도 거의 전역을 1~5m 두께로 피복하고 있으며 火山회는 당시의 풍향을 타고 동쪽, 동남쪽으로 동해저, 일본 동북부 및 남부에 까지 날아갈 정도의 강력한 火山쇄설성 분출이 있었다(Machida, 1981).

특히 계곡에도 이들 응회암층이 잘 발달 되어있는 것으로 보아 현재의 지형이 만들어진 후의 것으로 생각이 된다.

그후 火山체의 하부에는 공간이 생겨 산체의 정상부가 함몰되어 직경 3 km 이상의 삼각형의 Crater lake형 칼데라(Williams, 1942)가 만들어진 것으로 생각된다. 칼데라 내에서는 조면암질 암편과 火山회 및 火山사가 퇴적되어 內칼데라 퇴적작용이 계속되면서 火山쇄설물의 噴流가 분지내 여러곳에서 일어났다. 이때 알봉의 주체가 되는 돔이 형성되고 含白榴石 粗面安山岩 熔岩이 “알봉”을 중심으로 몇곳에서 유출된후 본도의 火山작용은 끝난 것으로 생각된다. 이때의 火山쇄설물 내에는 斑禰岩, 몬조니암, 閃長岩등 深成岩片들이 많이 포함되어 있다.

### Ⅲ. 岩石의 分類와 記載

#### Ⅲ-1 암석의 分類기준

최근 알카리 火山암류의 결정분화는 크게 두가지의 연속 계열로 나누고 있다(Kuno, 1968). 즉

- 1) 알카리 현무암—(조면현무암)—조면안산암—조면암—알카리 유문암
- 2) 알카리 현무암—Hawaiite-Mugearite—조면암—알카리 유문암

본도의 火山암류는 화학조성상의 특징에 의한 Irvine (1971)의 분류, Kuno(1957)의 Solidification Index (SI*) 및 광물조성에 의하여 분류했다. 또한 구성광물의 조성은 Table 2와 같다.

#### Ⅲ-2 火山암류의 조암광물과 조직

- (1) Alkalibasalt(Alkali olivine basalt (#6, 48), Ti-augite basalt (#106))

본암은 해안 저지에 형성된 玄武岩質 集塊岩과 粗面岩質 集塊岩 내에 포함된 岩片 또는 火山碎屑性 熔岩

*SI: MgO×100/(MgO+FeO+Fe₂O₃+K₂O+Na₂O)

Table 2. Characteristic minerals of various rock types

Rock Type	Phenocryst	%	Groundmass	%	Rock Type	Phenocryst	%	Groundmass	%
Alkali olivine basalt	Plagioclase An 66	18.0	Plagioclase An 58		Kaersutite		1.0	Apatite	
	Olivine	11.3	olivine			Titan-Biotite	0.6	Glass	76.7
	Titan-augite	15.8	Titan-augite			Magnetite dust	0.6		
	Magnetite	0.6	Magnetite						
			Glass	54.3	Plagioclase bearing aegirine augite trachyte	Plagioclase	2.4	Alkali feldspar	
						Alkali feldspar	14.3	Aegirine-augite	
						clinopyroxene (Aegirine-augite, Soda-augite)	1.3	Magnetite	
						Magnetite	0.3	Apatite	
Titan-augite basalt	Plagioclase An 58-62	4.8	Plagioclase An 50-56			Magnetite dust	0.7	Glass	81.0
	Olivine	2.3	Olivine(±)			Kaersutite±			
	Titan-augite	7.9	Titan-augite						
	magnetite	0.6	Magnetite						
			Apatite						
			Glass	84.3	Aegirine augite trachyte	Alkali feldspar	18.2	Alkali feldspar	
						Clinopyroxene (Soda-augite, Aegirine-augite, Magnetite)	1.3	Aegirine-augite	
						Magnetite	0.3	Magnetite	
						Magnetite dust	0.6	Apatite	
Trachy-basalt	Plagioclase An 52-60	5.5	Plagioclase An 54-50			Apatite±		Glass	79.6
	Olivine±		Titan-augite						
	Titan-augite	1.0	Magnetite						
	Magnetite	0.3	Anorthoclase(±)						
			Apatite						
			Glass	93.2	Kaersutite trachyte	Plagioclase±	0.5	Alkali feldspar	
						Alkali feldspar	11.8	Aegirine augite	
						Clinopyroxene (Aegirine-augite, Soda-augite)	1.0	Magnetite	
						Kaersutite	0.3	Apatite	85.7
Kaersutite trachy-andesite	Plagioclase	5.9	Plagioclase			Magnetite	0.3		
	Anorthoclase	2.4	Anorthoclase			Magnetite dust±	0.4		
	Olivine	0.3	Augite			Apatite± (rare)			
	Soda-augite	2.6	Magnetite						
	Kaersutite	5.8	Apatite						
	Biotite	1.7	Glass±	80.3					
	Magnetite	1.0							
Apatite (rare)									
Biotite-kaersutite trachy-andesite	Plagioclase	6.0	Plagioclase		Biotite trachyte	Plagioclase±	0.2	Alkali feldspar	
	Anorthoclase	4.8	Anorthoclase			Alkali feldspar	8.1	Aegirine-augite	
	Clinopyroxene (Soda-augite, titan-augite)	1.6	Clinopyroxene			Clinopyroxene± (Aegirine-augite, Soda-augite)	0.3	Magnetite	
	Kaersutite	1.4	Kaersutite			Biotite	0.3	Apatite	90.6
	Biotite	3.0	Biotite±			Magnetite	0.3		
	Magnetite	0.7	Magnetite			Magnetite dust	0.2		
			Apatite						
		Glass	82.5						
Leucite bearing trachy-andesite	Plagioclase An 20-41	14.1	Leucite	1.4	Aphyric trachyte	Alkali feldspar	3.7	Alkali feldspar	
	Anorthoclase					Clinopyroxene (Aegirine-augite)	0.8	Aegirine-augite	
	Sanidine	2.4	Plagioclase			Magnetite±	0.2	Magnetite	
	Olivine Fo 79	0.1	Anorthoclase			Magnetite dust±	0.2	Apatite	95.1
	Augite Wo 47-50		Olivine Fo 79						
	En 11-20	2.1	Augite		Phonolite	Anorthoclase	4.5	Nepheline	1.8
	Fs 30-42		Titan-biotite			Aegirine-augite	2.0	Alkali feldspar	
		Magnetite		Magnetite		0.6	Aegirine-augite		
							Magnetite		
							Apatite	91.1	

類와 암맥으로 산출된다.

육안적으로는 암갈색 내지 흑색으로 반상조적을 나타낸다. 斑晶은 橄欖石, 암녹색의 輝石 및 斜長石으로 이들을 20~40% 정도 포함하는 것과 輝石과 斜長石을 10~15% 포함하는 것으로 대별이 된다. 전자는 알카리 감람석 현무암, 후자는 티탄회석 현무암이다(Table 2).

현미경하에서 斑晶은 橄欖石, Ti-輝石, 斜長石, 磁鐵石이다. 감람석은 반자형으로 0.5-3 mm(큰것은 5 mm 이상)크기를 가지며 알카리 감람석 현무암에는 10% 이상, 휘석 현무암에는 2-5%가 포함된다. 대부분 외연부나 crack을 따라 Iddingsite화 되어 있으나 드물게는 완전히 이당사이트로 변질되어 있다. 변질되지 않은 감람석 중에는 등극형 용식된 외형을 갖는 것도 있다.

티탄회석은 自形내지 半自形의 주상결정으로 대부분 2 mm 이하의 크기를 가지나 큰것은 4 mm 이상인 것도 있다. 대부분 불연속 누대 구조를 보이며 전형적인 Hour-glass 구조도 흔히 나타난다. 드물게 나타나는 Normal zoning 중에는 내부와 외연부의 뚜렷한 성분상의 차이로 내부가 외연부보다 담색을 띄며 후기 광물들에 의한 再吸收에 의해서 蝕蝕되어 있고 외부는 담갈색으로 누대구조와 평행하게 사장석래드(lath)가 배열하고 있다. 티탄輝石에는 斜長石의 斑晶들을 부분적으로 함유하는 결정도 혼란데 이는 이미 정출된 斜長石 결정들 사이를 輝石이 채우고 성장한 결과로 생각된다. 그러나 사장석과 감람석 사이에서는 이러한 관계가 관찰되지 않는다. 휘석의 소광각은  $CAZ=44^{\circ}-52^{\circ}$ 이다.

사장석은 알카리 감람석 현무암에서 15% 내외, 휘석 현무암에서 5~7%가 포함되며 대부분 자형내지 반자형의 주상결정으로서 알바이트, 알바이트-칼스바드, 드물게 Pericline 쌍정을 나타낸다. 결정의 크기는 대체로 0.3~1.5mm 이고, 드물게는 티탄輝石내에 포획된다. An 함량은 58~66으로 래브라도라이트에 속하는 것이 많다. 그의 반정으로 불규칙한 형태의 磁鐵石이 소량 포함된다.

石基는 미립의 사장석래드 사이를 티탄회석, 자철석, 감람석, 유리질물질, 2차광물등이 채워진 intersertal 내지 hyalophitic 조적을 나타내며 부분적으로 ophitic 조적으로 접이한다.

(2) Trachybasalt (#5, 34, 65, 74)

본암은 주로 현무암질 집괴암내에 3-5 m의 얇은 용암류나 암맥으로 연속성이 없이 산재되어 산출된다. 육안적으로는 치밀한 암회색을 띄고 드물게 사장석 반정이 소량 포함되는 괴상암이다.

현미경하에서 반정은 사장석이 가장 우세하고 소량의 티탄회석, 감람석, 자철석이 포함된다.

斜長石은 반자형 내지 타형의 주상결정을 가지며 드물게는 취반상을 이루는 것도 있다. 주로 알바이트, 알바이트-칼스바드쌍정을 띄나 결정의 외곽이 누대구조를 보이는 것도 흔하다.

티탄輝石은 담갈색으로 1% 내외가 포함되며 자형내지 반자형의 주상결정으로 0.5-1 mm의 크기를 가지고 대부분 누대구조를 보여준다. 누대구조에서는 소광각이 내부 54°, 외부 50°로서 성분상의 차이가 있으며 Hour-glass 구조가 흔하다.

橄欖石은 사장석이나 티탄회석에 비해 크기도 작고 소량이 포함되는데 대부분 이당사이트로 변질되어 있다. 그의 용식된 자철석과 암적갈색의 불투명광물이 소량 포함된다.

석기는 lath 狀의 사장석 미립과 이들 사이를 단사휘석, 입상의 자철석, 유리질물질 및 2차광물들이 불규칙하게 채워진 intergranular 혹은 intersertal 조적을 띤다. 구성광물은 斜長石, 알카리長石, 티탄輝石, 磁鐵石, 燐灰石 및 유리질물질이고 그의 沸石 方解石, 綠泥石등이 2차적으로 충전되고 있다.

(3) Trachyandesite

本島에서 產出되는 粗面安山岩類는 그 광물조성에 따라 크게 3종류로 분류 할 수 있다.

- ① Kaersutite trachyandesite. ② Biotite-kaersutite trachyandesite 및 ③ Leucite bearing trachyandesite,
- ① Kaersutite trachyandesite (#22)

본암은 천부동-나리동 사이에서 제 4期火山活動의 下部粗面岩 사이에 간간히 형성되며 반상조적을 갖는다. 반정으로는 암갈색의 각섬석이 1~5 mm 정도이고 큰것은 2 cm 에 이루고, 장석도 반투명으로 각섬석 보다 크며 큰것은 2 cm 에 달한다. 本岩內에는 斜長石, 橄欖石, 單斜輝石, 角閃石 및 磁鐵石으로 구성된 斑禰岩 包有物이 포함된다. 그 크기는 3~5 cm 이다.

그외에도 반정으로 아놀스클레이스, 보통휘석, 캐르슈타이트, 흑운모, 자철석이 포함되어있다.

사장석은 대부분 폭이 넓은 반자형의 주상결정으로 이 사장석 결정의 외연부에 아놀스클레이스가 얇게 환을 이루는 경우가 있다. 이 사장석은 자형 결정으로 intratelluric기원이고 아놀스클레이스는 quenching stage에서 사장석 주위에서 성장한 것으로 생각된다.

캐르슈타이트 角閃石은 반자형 주상결정으로 보통 0.4~1.0 mm 로 큰것은 2 cm 이상이다. 강한 다색성 ( $X'$ =담황색,  $Y'$ =갈색,  $Z'$ =암갈색)을 나타내며  $CAZ=8^{\circ}-10^{\circ}$  이다. 대부분의 캐르슈타이트는 주위에

opacite rim 을 가지며 벽개면이나 crack 을 따라 미립의 磁鐵石 dust 로 산화되어 있거나 드물게는 각섬석, 휘석, 사장석, 자철석등의 미립으로 변질되어 있다. 흑운모는 X'=담갈색, Z'=적갈색의 다색성과 opacite rim 을 가지며 벽개면을 따라 심하게 변질되어 나타난다.

普通輝石은 담녹색 내지 담갈색의 반자형 결정으로 크기가 0.5 mm 내외이며 소광각(CAZ=)은 42°~48°이며 드물게 누대구조를 보인다. 때로 多片雙晶을 보이는 것도 있으며 일부는 결정의 주위가 opacite 로 변질되었다.

알카리장석은 반자형 내지 타형으로 미세한 띠를 갖는 cross-hatch 쌍정을 띄거나 이러한 쌍정이 흐려져서 나타나는 아놀소크레이스이다. 그의 응식된 결정의 경계를 갖는 자철석이 소량 포함된다.

석기는 완정질, 조립질로서 사장석, 아놀소크레이스 입상의 보통휘석, 자철석, 침상의 인회석 및 유리질물질로 되어있다.

### ② Biotite-kaersutite trachyandesite (#101, L-9)

본암은 羅里盆地 북쪽벽에 분포하는 舍斜長石 에지린-오자이트 조면암내에 협재되며, 죽암의 조면암질 집괴암내에서는 20 m 두께의 용암류로 산출된다. 육안으로는 회색내지 암회색의 반상조적을 갖는다.

광물조성이나 광물의 특징이 캐르슈타이트 조면암산암과 유사하나 흑운모가 각섬석보다 많고, 石基가 전자에 비해 세립질이고 다편쌍정을 띄는 캐르슈타이트와 흑운모를 포함하는 것으로 구별이 된다.

### ③ Leucite bearing trachyandesite (#29, 35, 45)

본암은 나리분지내 알봉은 중심으로 약 20 m 두께로 북쪽사면까지 발달해 있으며 그의 분지내 몇곳에서 소규모로 분포한다. 본암에 대해서 Tsuboi(1920)는 "Vulsinitic vicoite", Harumoto(1970)는 "leucite trachyandesite" 로 명명했다. 또한 이데성교수(1982, 미발표)는 본암에 대해 E. P. M. A.에 의하여 광물분석을 실시했는데 본 논문에서 그 data 를 인용했다. 육안상의 특징은 기공이 많은 회색의 반상조적을 나타내며 반정으로는 반투명의 장석과 암갈색내지 갈색의 角閃石과 輝石의 주상결정이 불규칙하게 배열되어 있다.

현미경하에서 반정으로는 사장석, 아놀소크레이스, 새니딘, 감람석, 보통휘석, 캐르슈타이트각섬석, 티탄흑운모 및 자철석이다.

사장석은 알바이트쌍정을 하는 것과 누대구조를 보이는 것이 있다. 대부분 잔액에 의해 응식되어 불규칙하거나 둥근형태를 나타내는 데 이들의 중심부나 가장자리는 석기질의 미립으로 변질되어 있다. 때로 사장

석중에는 calcic anorthoclase (Ab 55, Or 38, An 7)에 둘러싸이는데 이들은 응식후 quenching stage 에서 성장한 것이다. 사장석과 휘석중에는 흑운모, 사장석, 자철석 및 유리질물질등을 포함해서 포이킬리틱하게 나타나는 것도 있다. 사장석의 조성은 보통 (An: 39-18, Ab: 71-55, Or:11-16)으로 Ab 성분이 우세한 Potassic oligoclase 내지 andesine 이다.

輝石은 담녹색 普通輝石과 담갈색을 띄는 Ti 普通輝石으로 구성된다. 이들은 자형-반자형결정으로 흔히 누대구조를 보이지만 Ti-보통휘석은 Hour-glass 조적을 갖는다. 내부의 조성은 (Wo 50-47, En 42-30, Fs 20-11)의 부가 (Wo 50-48, En 37-32, Fs 20-14)로 Ca 가 풍부한 Diopside-Hedenbergite series 에 속한다 (Aoki, 1964). 소광각은 CAZ=48°~50°이다.

아놀소크레이스, 새니딘은 0.1~0.5 mm 크기로 2~3 % 포함되며 드물게는 聚斑狀을 이룬다. 극소량이지만 E. P. M. A. data 에 의하면 새니딘 주위에 Ca-anorthoclase 가 좁은 띠를 이루는 것도 있다.

캐르슈타이트는 소량이지만 강한다색성 (X'=담황색 Y'=갈색, Z'=적갈색)을 띄며 CAZ=9°이다. 이는 opacite rim 을 갖는 자형결정이다. Aoki(1963)는 캐르슈타이트를 "강한다색성을 갖고 TiO₂ 함량이 5% 이상인 褐色角閃石"이라 정의하고 강한 다색성을 갖는것은 산화작용의 결과라고 했다. 본암의 캐르슈타이트에 포함된 TiO₂의 함량비는 5.42~6.61%이다.

흑운모는 자형-반자형의 판상결정으로 나타나며 Ti-흑운모의 특징인 적갈색의 다색성을 보여주고 또 opacite rim 으로 에워싸여있다. TiO₂는 9.25~10.07% 포함된다. 드물게 단사휘석내에 포유물로 나타나는데 이는 잔액과 單斜輝石과의 반응에 의한 산물로 생각된다. 그외에 입상의 橄欖石 (Fo 79)이 소량 포함된다.

석기는 주로 단주상내지 주상의 사장석과 알카리장석 외에 입상의 白榴石 (1~2%), 입상내지 단주상의 보통휘석, 감람석 (Fo 78), 소량의 자철석, 인회석 및 유리질물질로 구성된다. 석기중 白榴石은 입상내지 6각형으로 0.01~0.06 mm 크기를 가지며 큰것은 0.3 mm에 달한다. 白榴石 내에는 單斜輝石, 斜長石, 磷灰石의 微晶 包有物이 동심원상, 3각형 혹은 불규칙하게 포함된다. 백류석의 화학조성은 (Na 0.04-0.08 K 0.92-0.96) (Al 0.97-0.98 Fe 0.01 Ca 0.01-0.02) Si₂O₆ 이다.

Deer(1965)등은 Ti-augite 에 대한 화학적인 정의에서 單斜輝石중 TiO₂ 함량이 3% 이상을 Ti-augite 라고 부르고 2~3%를 Titaniferous augite 라고 정의했다. Yagi(1967)는 TiO₂의 하한을 2%로 낮추었다. 본광물의 TiO₂ 함량은 외부가 내부보다 커서 중심이 1.89%,



3.73%, 외부가 4.44%의 성분변화를 보여준다.

(4) Trachyte

① Plagioclase bearing aegirine-augite trachyte (#52, 17, 61, L-8)

본암은 담회색내지 담녹색의 斑晶組織을 띤 암석으로 반정으로는 斜長石, 알카리長石, 單斜輝石, 磁鐵石 등이 포함된다.

사장석은 자형내지 반자형의 주상결정으로 대부분 아놀소크레이스에 의해 둘러싸인다. 반응연을 이룬 아놀소크레이스는 斜長石과 뚜렷한 경계를 이룬다.

알카리장석은 주로 아놀소크레이스로 반정중 가장 많이 포함된다. 대부분 0.4~2 mm의 폭이 넓은 주상결정으로 가장자리가 용식된 구조를 보이며 내부쪽에서는 micropertthitic 구조를 보이는 것도 흔하다. 흔히 취반상을 이루는데 이들중 cross-hatched 쌍정을 갖는 것도 있으나 누대구조를 보이는 것이 더 일반적이다.

單斜輝石은 담녹색이며 자형내지 반자형의 0.3~0.6 mm의 크기로 소량포함된다. 소광각은 대개 32°~43°의 범위를 가지며 드물게 미립의 자철석 opacite rim을 갖는다. 홍문동에서 산출되는 것(#52)에는 거의 전체가 opacite화된 캐르슈타이트도 소량 포함된다.

石基는 완정질로서 전형적인 조면암질 조직을 보이며 대부분이 장주상의 알카리장석으로 구성되며 입상의 자철석, 에지린-오자이트(담녹색), 철상의 인회석, 소량의 갈색 유리질물질등이 포함된다.

② Aegirine-augite trachyte (#54, 72, 25, L-3, 21, 51, 56, 83, 99)

본암은 해수면상 본도의 골격을 이룬 粗面岩類중 가장 흔한 것이다. 담회색의 반상조직을 보이며 반정으로는 알카리長石, 單斜輝石, 磁鐵石등으로 斜長石은 거의 포함되지 않는다.

알카리장석은 대부분 반자형내지 타형으로 가장자리가 용식된 구조를 보이며 내부가 micropertthite 구조를 나타내는 것이 흔하다. 새니딘은 C축으로 길게 신장된 장주상으로 소량 포함되는데 칼스바드 쌍정이 보인다.

單斜輝石은 담녹색 내지 녹갈색의 에지린-오자이트(CAZ=25°-32°)와 담녹색의 soda-augite(CAZ=37°-45°)로 구분된다. 대부분 반자형으로 0.3~0.6 mm의 크기를 가지며 자철석과 밀접히 수반된다. 드물게는 opacite화된 자철석 微粒에 의해 둘러싸인다.

석기는 완정질의 조면암질 조직을 나타내며 알카리장석, 에지린-오자이트, 자철석, 인회석, 소량의 갈색 유리질물질이 포함된다.

③ Kaersutite biotite trachyte (#1, 20, 23, 57, 73,

76, 80, 97, c-4)

본암은 제 3과, 제 4期活動의 粗面岩類 중에 부분적으로 협재되며 에지린-오자이트 조면암과 유사한 광물조성이나 조직을 나타내지만 斑晶은 소량의 사장석, 캐르슈타이트 및 흑운모로 구성되어있다.

캐르슈타이트와 黑雲母는 반자형의 관상이나 주상결정으로 크기는 0.3-1 mm 내외이며 거의 전부가 자철석 미립의 反應緣에 의해서 둘러싸이며, 드물게 벽개면을 따라 자철석 미립으로 산화되어 있다. 그중에는 완전히 opacite화 하여 원형을 구별할수 없는 것도 있다.

④ Aphyric trachyte (#32, 46, 70, 50, 100, L-7)

본암은 송곳산, 노인봉등 柱狀節理가 특징적인 노두의 하부에 주로 분포하며 육안으로는 치밀한 녹회색암으로 반투명의 長石斑晶이 소량 포함된다.

斑晶으로는 알카리長石, 에지린-오자이트, 磁鐵石등으로 알카리장석은 아놀소크레이스가 대부분이지만 드물게 장주상의 새니딘도 소량 포함된다.

에지린-오자이트는 미반정으로 자형 내지 반자형의 연녹색을 띠며 소광각은 CAZ=25°-32°범위이다. 송곳산에서는 에지린-오자이트가 반정으로는 포함되지 않는다. 그의 자철석이 미반정으로 소량 포함되는데 특히 에지린-오자이트에 밀접히 수반된다.

石基는 完晶質로 전형적인 粗粒岩質 조직을 나타내며 노인봉에서는 드물게 구과상(Spherulitic)구조를 보이는 것도 있다. 그외에 sieve형의 에지린-오자이크가 알카리장석 사이를 채우며, 드물게 자철석, 인회석이 포함된다.

⑤ Phonolite (#94)

본암은 초봉을 이루는 주요암으로 육안으로는 녹회색을 띄고, 크기가 2-4 mm인 장석반정에 의해 미약한 반상조직을 보인다.

반정의 주요 구성광물은 알카리장석, 에지린-오자이트 및 자철석이다.

알카리장석은 주로 C축으로 신장된 장주상 반자형-타형 결정으로 그 크기는 평균 폭 0.3mm, 길이 1mm, 드물게는 聚斑狀을 이루거나 micropertthitic 조직을 보인다.

에지린-오자이트는 녹색-황녹색의 다색성을 보이며 대부분이 sieve형으로 불규칙한 형태를 갖는다.

석기는 完晶質, 粗粒岩質 組織을 나타내며, 구성광물은 알카리장석, 에지린-오자이트, 네펠린, 입상의 자철석 및 드물게 철상의 인회석이 포함된다.

네펠린은 4각형 내지 6각형의 자형결정으로 주위는 에지린-오자이트에 의해 결정의 경계가 뚜렷하며 쌍정은 띄지 않는다. 그 크기는 0.05~0.2mm로 單斜輝

Table 3. Rock types of each stages.

Stages	Pock types					
	1st	2nd	3rd	4th lower	4th upper	5th
Alkali olivine basalt	⊖	⊖				
Titan-augite basalt	⊖	⊖				
Trachybasalt	○	⊖				
Kaersutite trachyandesite				○		
Biotite-kaersutite trachyandesite		○	⊖			
Plagioclase bearing aegirine-augite trachyte		○		○	○	
Aegirine-augite trachyte			○	○	○	
Kaersutite trachyte			○	○	○	
Biotite trachyte		○	○		○	
Aphyric trachyte				○	○	
Phonolite					○	
Leucite bearing trachyandesite						○
Ejecta						⊖

⊖ : rock fragment  
○ : lava flow

石的 미정이나 microlite 의 包有物을 갖는것이 특징이다.

Table 3은 각 stage 별로 나타나는 구성암석을 표시했으며 Table 4 에는 각 stage 별로 구성암석의 반영 및 석기의 광물 조합을 나타내었다.

IV. 암석화학적 특성

IV-1 화학성분

Table 6에 대표적인 화산암류 28개의 화학분석치와 이들의 C. I. P. W. 노름치 및 SI가 표시되어 있고, 시료 채취위치는 Fig. 2와 같다. 화산암류의 산화물의 조성 범위는 SiO₂: 40.98~61.49%, TiO₂: 0.08~3.16%, Al₂O₃: 13.13~21.09%, FeO+0.9 Fe₂O₃: 3.04~12.1%, MgO: 0.051~9.4%, CaO: 1.07~11.79%, Na₂O: 0.88~8.50%, K₂O: 0.79~6.43%, P₂O₅: 0.01~0.89%, MnO: 0.14~1.01%이다.

또 상당수의 암석은 노름 네펠린을 갖는 것으로 보아 SiO₂에 不飽和인 특성을 나타낸다.

IV-2 화학성분의 특성

Table 4. Phenocryst & groundmass mineral assemblages of each stage.

Stages	Phenocryst					
	1st	2nd	3rd	4th lower	4th upper	5th
Plagioclase	○	△	△	△	△	○
Alkali feldspar			○	○	○	○
Olivine	○			△		△
Titan-augite	○					○
Augite	△	△	○	△	△	○
Aegirine-augite		○	○	○	○	
Brown amphibole		△	△	△	△	△
Biotite		△	△	△	△	△
Apatite			△	△	△	
Magnetite	○	○	○	○	○	○
Magnetite dust		○	○	△	△	○
Plagioclase	○	△		△		○
Alkali feldspar	△	○	○	○	○	○
Olivine	△					△
Clinopyroxene	○	○	○	○	○	○
Brown amphibole		△				
Biotite		△				
Apatite	△	○	○	○	○	△
Magnetite	○	○	○	○	○	△
Glass	○	△	△	△	△	○
Leucite						○
Nepheline					○	

*Rock fragments are excepted ○ : frequently  
△ : less frequently

Fig. 3에 Harker(1909)의 SiO₂성분 증가에 따른 각 산화물의 변화를 나타냈다. SiO₂의 조성범위는 알카리玄武岩이 40.58~47.55%, 粗面玄武岩이 49.93~53.58%, 粗面安山岩이 53.63~56.53%, 粗面岩이 56.51~61.49%의 범위를 나타낸다.

SiO₂함량이 증가함에 따라서는 K₂O, Na₂O 및 K₂O + Na₂O는 일정하게 증가하고, MgO, CaO, FeO+0.9 Fe₂O₃ 및 TiO₂는 감소하는 경향을 보인다. 특히 CaO 및 FeO+0.9 Fe₂O₃는 현저하게 감소한다. MnO는 화

Table 5. Bulk chemical composition and CIPW norms of volcanic rocks of Ulnung Island.

	A-04	A-05	A-06'	A-09	A-11	A-12	A-13	A-14	A-15	A-18A	A-18B	A-19	A-20
SiO ₂	44.37	60.75	61.49	57.53	57.41	56.51	57.53	57.32	56.52	58.56	59.12	58.23	59.60
TiO ₂	3.16	0.49	0.72	0.35	1.15	1.24	1.00	1.04	1.30	0.50	0.41	0.54	0.35
Al ₂ O ₃	13.13	18.07	18.14	18.88	18.48	18.86	19.41	19.33	18.94	19.25	19.04	19.39	18.84
Fe ₂ O ₃	4.38	2.63	3.18	1.62	2.17	2.04	4.35	4.52	2.06	1.7	1.50	1.85	1.80
FeO	7.19	1.44	0.62	1.88	2.84	3.34	0.41	0.52	3.24	1.95	2.10	2.29	2.78
MnO	0.16	0.17	0.18	0.19	0.14	0.15	0.14	0.14	0.15	0.15	0.16	0.17	0.18
MgO	9.40	0.33	0.48	0.11	1.16	1.41	0.99	0.15	1.47	0.27	0.15	0.43	0.46
CaO	10.59	0.84	1.28	1.13	3.55	3.33	2.52	2.61	3.98	1.56	1.39	1.92	1.61
Na ₂ O	2.70	6.97	5.72	5.96	5.74	5.73	6.00	5.98	5.78	6.47	7.61	7.93	6.83
K ₂ O	0.97	5.68	6.34	5.77	5.72	5.65	5.97	5.98	5.48	6.43	6.17	5.81	5.98
H ₂ O ⁺	2.09	2.02	1.00	4.32	0.80	0.58	0.48	0.48	0.58	1.89	1.25	0.66	1.12
H ₂ O ⁻	0.60	0.23	0.21	1.14	0.40	0.41	0.55	0.50	0.40	0.57	0.14	0.10	0.20
P ₂ O ₅	0.75	0.19	0.21	0.14	0.35	0.31	0.26	0.17	0.37	0.17	0.14	0.22	0.30
Ig. Loss	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Total	99.47	99.82	99.57	99.14	99.91	99.56	99.61	99.74	100.27	99.62	99.24	99.54	100.05
NORMS													
Q	—	—	1.14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
or	5.57	33.39	37.29	3.95	33.95	33.39	35.06	35.06	32.39	37.84	36.17	34.50	35.34
ab	20.45	52.95	48.23	46.14	37.22	35.13	39.32	40.37	35.02	39.85	40.89	37.45	43.78
an	20.86	1.39	5.28	5.28	7.51	9.18	8.34	8.62	9.57	6.12	—	—	3.09
ne	1.42	3.12	—	2.27	6.25	7.10	6.25	5.40	7.50	7.67	12.50	15.91	7.58
C	—	—	—	0.92	—	—	—	—	—	—	—	—	—
di	21.84	1.60	0.22	—	6.81	4.54	1.73	1.27	6.35	0.71	5.35	6.01	2.57
hy	—	—	1.45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ol	12.58	—	—	1.74	1.05	3.47	1.20	—	2.15	1.44	—	—	2.45
ac	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.46	—	—
mt	6.25	3.70	0.69	2.32	3.24	3.01	—	—	2.99	2.55	1.85	2.78	2.62
hm	—	—	2.71	—	—	—	4.31	4.47	—	—	—	—	—
il	6.07	0.91	1.37	0.60	2.12	2.43	1.21	1.37	2.47	0.95	0.76	1.06	0.67
pf	—	—	—	—	—	—	0.68	0.54	—	—	—	—	—
ap	1.68	0.34	0.34	0.34	0.67	0.67	0.67	0.34	0.87	0.34	0.34	0.67	0.71
SI	38.2	1.9	2.9	0.7	6.6	7.8	5.6	0.9	8.2	1.6	0.9	2.4	2.6

A-04, W-1, W-2, 48: Alkali basalt, W-3, W-4, 34, 74: Trachybasalt, W-5, W-6, 89-C, 101, 86: Trachyandesite  
 A-05, A-06', A-09, A-11, A-12, A-13, A-15, A-18A, A-18B, A-19, A-20, 46, 55, 85: Trachyte, 18, 26-C:  
 Alkali feldspar syenite

산암류에서는 0.14~0.25%로 SiO₂의 증가에 관계없이 일정한 조성을 갖지만 火山拋出物에는 0.84~1.01%로 높은 함량을 보인다.

Fig. 4는 Kuno(1957)에 의해 제안된 SI에 대한 각 산화물의 성분 변화도이고, 그림에서 실선은 일본 Oki, Dogo 섬의 알카리 화산암류의 분화경로이다(Uchimizu, 1966).

본도의 알카리 화산암류는 SI : 33.27~0.72의 범위를 나타내고 SI에 대한 각 조성의 변화경향은 전형적인 알카리암 계열의 특징을 나타낸다. 또한 SI에 의해, 알카리 현무암(SI=39-27), 조면현무암(SI=17-14), 조면안산암(SI=12-9), 조면암(SI=8.2-0.7)으로 구분되었다.

대체로 알카리 현무암—조면현무암의 범위에서는 각

W-1	W-2	W-3	W-4	W-5	W-6	48	34	74	89-C	101	55	46	85	86
42.60	47.55	49.83	53.58	56.27	56.53	40.98	45.93	46.74	53.64	54.30	59.03	57.73	59.31	55.03
3.20	3.02	3.00	1.19	1.20	0.98	2.72	2.82	2.22	1.43	1.46	2.26	0.08	0.56	1.26
16.07	12.01	15.59	21.09	19.89	19.65	15.28	19.15	19.66	20.89	19.93	18.87	28.65	20.58	20.03
2.60	4.20	3.75	2.09	1.68	2.08	3.31	4.25	1.84	4.56	1.93	1.41	2.70	2.08	3.31
7.70	8.32	5.22	4.69	4.78	3.72	7.14	4.50	5.38	1.54	4.17	2.32	1.65	1.74	2.31
0.18	0.24	0.24	0.22	0.18	0.14	0.14	0.25	0.18	0.16	0.18	0.18	0.25	0.18	0.15
5.24	7.87	2.35	2.46	1.99	1.85	7.98	2.56	2.26	1.63	1.88	0.41	0.28	0.50	1.73
11.68	10.60	8.41	5.08	4.37	4.17	11.79	8.13	7.67	4.40	4.23	1.81	1.07	2.26	4.06
1.77	2.79	4.23	4.30	4.41	5.38	0.88	3.03	1.70	4.15	3.40	5.15	8.50	6.00	4.20
2.01	0.99	1.19	3.73	3.85	3.45	1.54	1.08	3.96	5.03	5.30	6.35	5.40	6.40	5.62
—	—	—	—	—	—	3.07	2.77	2.42	0.72	0.28	0.91	1.15	0.19	0.55
0.81	0.14	1.44	0.80	0.53	0.27	0.72	0.76	0.29	0.12	0.10	0.13	0.30	0.42	0.11
0.65	0.42	0.37	0.55	0.55	0.28	0.64	0.89	0.76	0.57	0.49	0.08	0.01	0.17	0.38
4.36	1.48	4.00	0.25	0.32	1.20	3.41	4.13	4.65	0.69	2.15	0.43	—	—	0.44
98.87	99.90	99.98	100.03	100.02	99.70	99.60	100.25	99.73	99.53	99.80	99.34	99.77	100.39	99.18

NORMS

—	—	3.27	—	2.52	—	1.50	4.98	1.56	—	0.66	0.90	—	—	—
11.88	5.85	7.03	22.04	22.75	20.39	8.90	6.12	23.37	29.49	31.16	37.29	31.72	37.84	33.39
11.70	23.61	35.80	36.39	37.32	45.53	7.34	25.69	14.16	35.13	28.84	43.52	39.85	39.85	35.65
29.97	17.32	21.02	21.66	18.14	18.88	33.38	35.32	33.93	18.36	18.36	8.07	2.50	10.30	17.52
1.74	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17.33	5.96	—
—	—	—	2.04	1.82	0.14	—	—	—	1.94	1.94	0.61	—	—	0.51
19.28	26.36	15.38	—	—	—	18.09	—	—	—	—	—	1.99	—	—
—	6.43	0.43	6.64	10.72	5.28	—	6.98	10.63	4.02	11.38	1.00	—	—	0.10
7.65	5.57	—	3.49	—	2.32	11.68	—	—	—	—	—	1.00	3.12	2.95
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.77	6.09	5.44	3.03	2.44	3.02	4.86	6.25	2.78	1.16	2.78	2.62	3.94	3.01	4.17
—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.83	—	0.32	—	—	0.48
6.08	5.74	5.70	2.26	2.28	1.86	0.16	5.31	4.25	2.73	2.73	4.25	0.15	1.06	2.43
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.50	0.97	0.85	1.27	1.27	0.64	1.68	0.02	1.68	1.35	1.01	0.30	—	0.30	1.01
27.1	32.6	14.0	14.2	11.9	11.2	38.3	16.6	14.9	9.6	11.3	2.6	1.5	3.0	10.1

A-04~A-20: (Analyst; Aoki, K)

W-1~W-6: (Won, 1981)

산화물의 조성은 일정한 분포를 보이지만 粗面玄武岩—粗面安山岩—粗面岩 사이에서는 현저한 변화를 보인다. 粗面玄武岩과 粗面岩 사이에서  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O+Na_2O$  및  $SiO_2$  는 증가하고,  $FeO+0.9Fe_2O_3$ ,  $CaO$  및  $TiO_2$  는 감소하며 특히  $MgO$  는 알카리 현무암—조면암 사이에서 일정하게 감소하는 경향이 있다.

Oki, Dogo 의 알카리암 계열의 분화경로는 그림 4에서 “T”가 alkali basalt-trachybasalt-trachyandesite-trachyte-

rhyolite 계열이고 “M”은 alkali basalt-trachybasalt-mugearite-Ferich trachyte-quartz rhyolite 계열을 나타낸 것이다. 이들의  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O+Na_2O$  및  $MgO$  는 본도와 양 계열이 비슷한 분화경로를 보이나  $CaO$ ,  $FeO+0.9Fe_2O_3$  및  $TiO_2$  는 “T”계열과 비슷하고  $SiO_2$  만은 “M”계열은 따른다. 한편  $Al_2O_3$  의 함량은 全般的으로 본도의 암석이 높은 조성을 보인다.

Fig. 5 는  $SiO_2-(K_2O+Na_2O)$  의 관계 (Kuno, 1966)

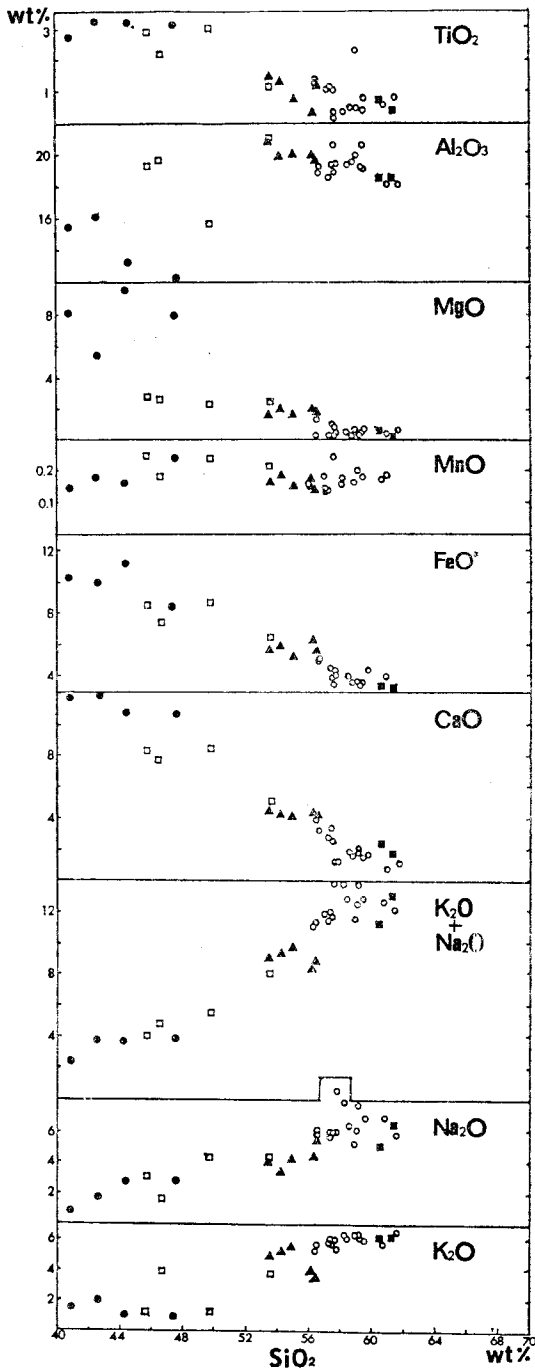


Fig. 3 SiO₂-oxides variation diagram.  
 ● : Alkali basalt □ : Trachybasalt  
 ▲ : Trachyandesites ○ : Trachyte ■ : Syenite

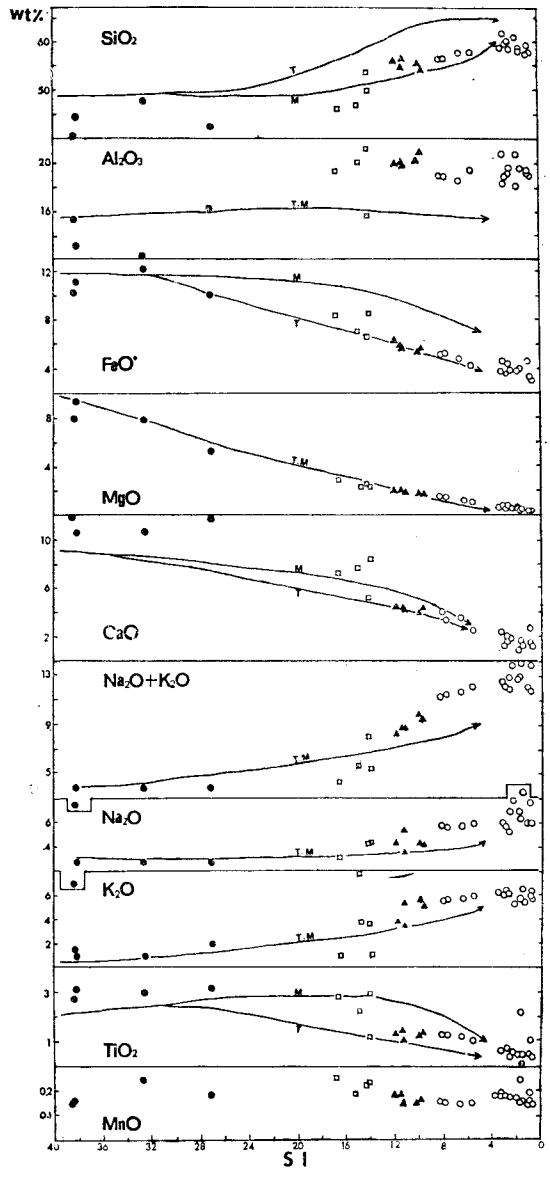


Fig. 4 Si-oxides variation diagram, compared with Dogo, Oki Island, Japan. (Kuno, 1953)  
 M: Variation curves for the rock of basalt-trachybasalt-mugearite-Fe-rich trachyte-quartz rhyolite series.  
 T: Variation curves for the rock of basalt-trachybasalt-tachyandesite-trachyte-rhyolite series (Uchimizu, 1966)  
 See Fig. 3 for symbols.

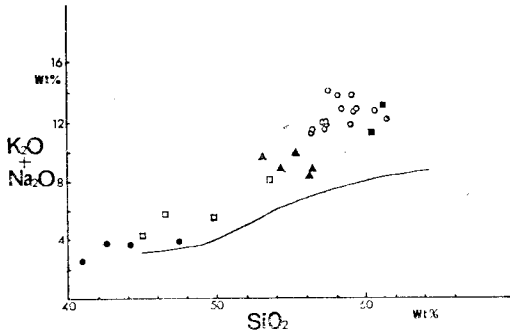


Fig. 5 SiO₂-total alkali variation diagram. (Kuno, 1966) Full line is divided Alkaline area (upper) and Non-alkaline area (lower). See Fig. 3 for symbols.

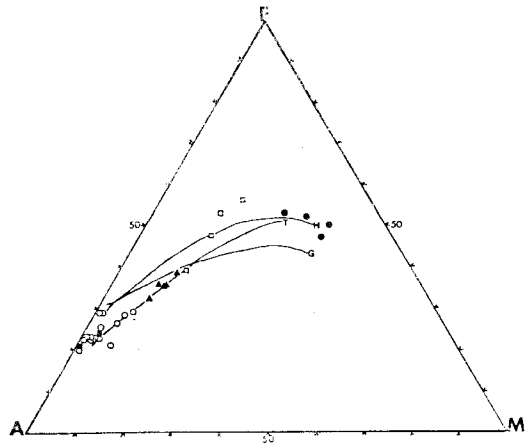


Fig. 8 Na₂O+K₂O(A)-MgO(M)-FeO+Fe₂O₃(F) variation diagram. Differentiation trends of the volcanic rocks of Ulung Island Compared with those of other alkali rock series. H, T and G indicate the trends of Hawaiian, Tristan and Gough alkali rock series. See Fig. 3 for symbols.

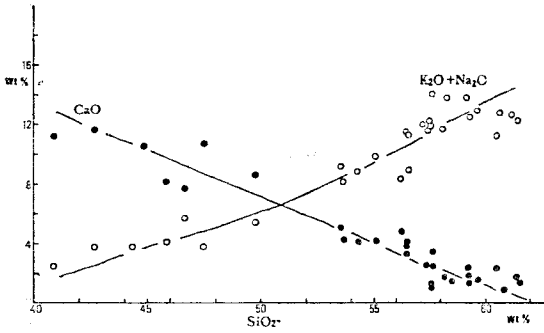


Fig. 6 Alkali-lime index of alkali volcanic rock from Ulung Island.  
○ : Na₂O+K₂O    ● : CaO

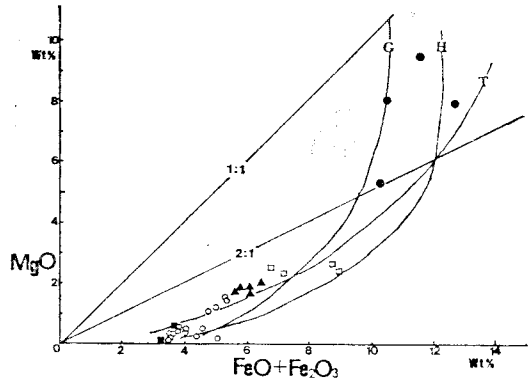


Fig. 9 FeO+Fe₂O₃-MgO variation diagram. (Coombs, 1969) See Fig. 8 for symbols.

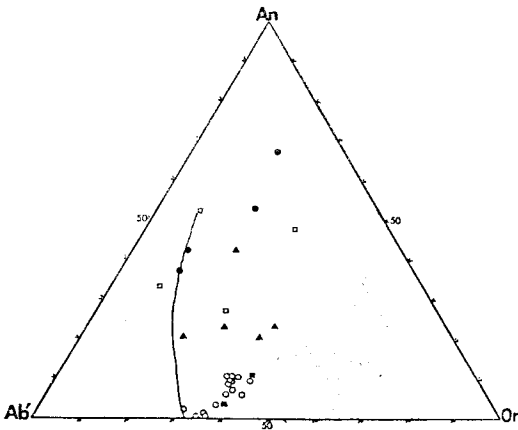


Fig. 7 An-Ab'-Or diagram (Irvine, 1971). Full line is divided Sodic series (left) and Potassic series (right). See Fig. 3 for symbols.

을 표시했다. 그림에서 실선은 일본의 화산암류중 알카리계열과 고알루미나 계열 및 Tholeiite 계열을 구분하는 선이다. 본도의 화산암류는 SiO₂가 증가함에 따라 알카리도가 일정하게 증가하며 전부가 실선의 상부인 알카리암 계열의 영역에 표시된다.

Fig. 6은 SiO₂-CaO 및 SiO₂-(K₂O+Na₂O)의 관계를 나타낸 것이다. SiO₂의 증가에 따라 CaO는 감소하며, (K₂O+Na₂O)는 증가한다. 이들의 交叉點인 Peacock의 알카리-라임지수는 50.8로 알카리 계열에 속함을 알수있다. 참고로 環東海 알카리 岩石區의 평

균치는 53.1(Tomita, 1934), Iki 섬의 알카리암 계열은 51.0(Aoki, 1959), 제주도는 49.5(원종관, 1975), Hawaii의 알카리암 계열이 50.8(Macdonald, 1949) 을 능도는 50.0(Lee, 1977)이다.

Fig. 7 은 Irvine(1971)에 의한  $An-Ab'(Ab+\frac{5}{3}Ne)-Or$  삼각도이다. 그림상의 실선은 알카리암 계열을 나누는 기준이 되는 선으로 실선의 왼쪽 영역이 Hawaii, St. Helena, Hebrides 등의 Sodic 계열의 특징을 나타내며, 오른쪽 영역이 Gough, Tristan의 Potassic 계열의 특징을 나타낸다.

본도의 암석은 (# w-3)을 제외한 모든 암석이 실선의 오른쪽에 표시되며 알카리암 계열중 Potassic 계열에 해당된다.

Fig. 8 은  $(Na_2O+K_2O)-(FeO+Fe_2O_3)-MgO$  (AF M diagram)의 관계를 표시했다. 이것과 함께 Tristan (T), Gough(G) 및 Hawaii(H)의 알카리 火山岩 系列의 변화경로를 표시했다. 본도의 알카리 화산암류는 초기 알카리 玄武岩에서는 알카리 角閃石 마그마의 본원 마그마에 해당되고 粗面玄武岩에서 Mg가 감소하면서 Fe가 급격히 농집하지만 조면현무암에서 조면암으로 진행되면서 Fe가 감소하는 대신 알카리의 함량이 현격하게 증가함을 알 수 있다.

또한, 본원마그마인 알카리 감람석 마그마는 Tristan이나 Hawaii에서와 類似하나 粗面玄武岩에서는 Gough나 Tristan보다 Fe정점 쪽으로 더 가까워졌다가 粗面安山岩—粗面암으로 분화가 진행됨에 따라 Tristan과 거의 같은 분화경로를 따른다.

일반적으로 分化過程에서 Fe의 농집은 magma reservoir 내에서 상대적으로 낮은  $PO_2, PH_2O$ 의 영향으로 설명이 된다(Uchimizu, 1966., Coombs, 1969).

Fig. 9 는  $(FeO+Fe_2O_3)-MgO$ 의 변화도이다(Coombs, 1969).

이것과 함께 Gough(G), Hawaii(H) 및 Tristan(T)의 알카리 화산암 계열의 변화경로를 표시했다. 그림에서 알카리 玄武岩은  $MgO/FeO+Fe_2O_3$ 가 1:1~1:2 사이를 차지하며 粗粒玄武岩으로 分化함에 따라 1:2이하에 표시된다. 전반적으로 본도의 알카리암系列은(# 48)을 제외하면 초기의 알카리 현무암은 Tristan이나 Hawaii와 유사한 성질을 가지며 조면현무암—조면암으로 분화가 진행되며 Tristan의 분화경향을 따른다.

#### IV-3 고 찰

본도에서 산출되는 화산암은 알카리—라임지수 및  $SiO_2-(K_2O+Na_2O)$ 의 성분으로 보아 알카리암系에 속하며, Si-oxides 및  $SiO_2$ -oxides 成分變化圖에서도 진

형적인 알카리암계의 특징을 나타낸다(Fig. 3, 4, 5, 6).

An-Ab'-Or 삼각도에 의해서는 알카리암계중 Potassic 계열의 특징을 나타낼 수 있다. 또한 본도 화산암류의 분화경향은(Fig. 8, 9) 초기 본원 마그마인 알카리 감람석 현무암의 分別晶出作用에 의해 후기로 갈수록 알카리의 양이 증가하며  $MgO/FeO+Fe_2O_3$ 의 비가 감소함을 알 수 있고, 전반적으로 남대서양 중앙해령 부근의 Tristan 화산도의 알카리암 계열의 분화경향과 유사한 성질을 갖는다.

#### V. 결 론

(1) 울릉도의 화산활동은 화산암류의 4의 산출상태 및 암상변화에 의해 5기로 구분된다.

제 1期은 玄武岩質 集塊岩 및 火山礫質 凝灰岩의 噴出이며, 제 2期은 粗面岩質 集塊岩 및 火山礫質 凝灰岩의 噴出이다. 제 3期은 粗面岩類와 火山礫質 凝灰岩類의 噴出期이며, 제 4期은 제 3기에 이어 粗面岩類 및 포노라이트를 분출시킨 시기이다. 제 5期은 浮石, 火山礫質 凝灰岩 및 凝灰岩이 噴出한후 대규모의 함락 칼데라가 형성되었고, 이어 화산활동의 최종산물인 白榴石 粗面安山岩 熔岩流가 분출되었다.

(2) 분출시기는 제 1期의 조면현무암류가 1.8 m. y. (K-Ar)이며, 제 5기의 Tephra fall deposits가 9300년 (Machida, 1981)인 것으로 보아서 적어도 해수면상의 화산활동은 Pleistocene 내지 Holocene에 걸친다.

(3) 본도의 화산암류의 구성암석은 알카리암의 특징을 나타내며 대체로 알카리 玄武岩, 粗面玄武岩, 粗面安山岩, 粗面岩 및 포노라이트의 順으로 분화가 진전되었다. 알카리 현무암 및 조면현무암의 주요 구성광물은 斜長石, 橄欖石과 Ti-輝石이며, 粗面安山岩, 粗面岩 및 포노라이트의 주요 구성광물은 알카리長石, 普通輝岩, 에지린—오자이트, 캐르슈타이트 및 黑雲母이다.

특히 알봉의 조면안산암과 포노라이트 중에는 실리카에 불포화의 특징을 나타내는 白榴石 및 네펠린 포함되어 있다.

(4) 화산암류의 화학적인 특성은 알카리암 계열중 Potassic 계열에 해당되며, 본원마그마는 알카리 감람석 현무암으로서 남대서양 중앙해령에 있는 Tristan 화산도와 유사한 분화경향을 나타낸다.

#### 參考文獻

Aoki, K. (1959) Petrology of Alkali rocks of the Iki Island & Higashi Katsura district. Japan Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. III, V. 6, No. 7, 261-310.  
— (1963) The Kaersutites and Oxykaersutites from

- Alkali Rocks of Japan & Surrounding. *J. Pet.*, V. 4, No. 2.
- (1965) Clinopyroxenes from alkaline rocks of Japan. *Am. Min.*, V. 59, 1199–1223.
- Aramaki, S. (1969) Some problems of the theory of caldera formation. *Volcon.*, V. 14, No. 2, 55–76.
- Baker, I. (1969) Petrology of the volcanic Rocks of Saint Helena Island, South Atlantic. *Geol. Soc. Am. Bull.*, V. 80, 1283–1310.
- Barth, T. F. W. (1962) *Theoretical Petrology*. John Wiley & Sons. Inc., New York, 416p.
- Borley, G. D. (1967) Potash-rich rocks from Southern Spain. *Miner. Mag.*, V. 36, 364–379.
- Brown, G. M. & Vincent, E. A. (1963) Pyroxene from the early & middle stage of fractionation of the Skaergaard intrusion, East Greenland. *Min. Mag.*, V. 31, 511–543.
- Carmichael, I. S. E. et al., (1974) *Igneous Petrology*. McGraw-Hill, New York, 739p.
- Chayes, F. (1966) Alkaline & Subalkaline Basalts. *Am. J. Sci.*, V. 264, 128–145.
- Church, B. N. (1975) Quantitative classification and chemical composition of common volcanic rocks. *Geol. Soc. Am. Bull.*, V. 86, 262–275.
- Coombs, D. S. & Wilkinson, J. F. G. (1969) Lineages and Fractionation trends in Undersaturated Provinces (New Zealand) and Related Rocks. *J. Pet.*, V. 10, 440–501.
- Cox, K. G. etc. (1978) *The Interpretation of Igneous Rocks*. George Allen & Unwin, London, 450p.
- Fudali, R. F. (1963) Experimental Studies bearing on the origin of Pseudoleucite & associated Problem of alkalic Rocks systems. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, V. 74, 1101–1126.
- Galli, M. F. (1976) The crystal structure of tetragonal leucite. *Amer. Min.*, V. 61, 108–115.
- Harumoto, A. (1970) Volcanic rocks & associated Rocks of Utsuryoto Island. Nippon Printing & Publishing Co., 39p.
- Irine, T. N. & Baragar, W. R. (1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.* V. 8, 523–548.
- Kawano, Y., Yagi, K. & Aoki, K. (1961) Petrology & Petrochemistry of the volcanic rocks of Quaternary of northeastern Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, Ser. III, No. 7, 1–46.
- Kuno, H. et al., (1957) Differentiation of Hawaiian Magmas. *Jap. Jour. Geo. Geogr.*, V. 28, No. 4, 179–218.
- Lee, D. S. (1977) Chemical Composition of Petrographic Assemblages of Igneous and related Rocks in South Korea. *Jour Korean Inst. Mining Geol* V. 10. 75–92.
- Lee, M. W. (1982 a) Geology of Jeju Volcanic Island, Korea. *J. Jap. Ass. Min. Petro. Eco. Geol.*, V. 77, 55–64.
- (1982 b) Petrology of Jeju volcanic Island, Korea. Part 1. Petrography and Bulk chemical composition. *J. Jap. Ass. Min. Petro. Eco. Geol.*, V. 77, 203–214.
- Le Maitre, R. W. (1962) Petrology of volcanic rocks, Gough Island, South Atlantic. *Bull. Geol. Sci.*, V. 73, 1309–1340.
- MacBirney, A. R. & Aoki, K. (1968) Petrology of the Island of the Tahiti. *Geol. Soc. Am. mem.*, V. 116, 523–566.
- Macdonald, G. A. & Katsura (1964) Chemical composition of Hawaiian lavas. *J. Pet.*, V. 5, 82–133.
- Machida, H. & Arai, F. (1981) Late Quaternary large eruptions recorded in distal areas around Japan (abs.). IAVCEI symposium, 214–215.
- Miyashiro, A. (1974) Volcanic rock series in Island Arc & continental margins. *Amer. J. Sci.*, V. 274, No. 4, 321–354.
- Muir, I. D. & Tilley, C. E. (1961) Mugearites & the place in alkali igneous rock series. *J. Geol.*, V. 69, 186–203.
- Sobolev, V. S., Bazarova, T. Ju. & Yagi, K. (1975) Crystallization Temperature of Wyomingite from Leucite Hills. *Contrib. Min. Petro.*, V. 49, 304–308.
- Sørensen, H. (1974) *The Alkaline rocks*. John Wiley & Sons., 622p.
- Tsuboi, S. (1920) On a leucite rocks vulsinitic vicoite from Utsuryoto Island in the Sea of Japan. *Geol. Inst. Sci. Coll., Univ. Tokyo*, 91–104.
- (1981) On a genesis of Leucite Rocks of Island Utsuryoto (Ullungdo, Korea), *Proc. Japan. Acad.*, V. 57, Ser. I., 233–238.
- Thornton, C. P. & Tuttle, O. F. (1960) Chemistry of Igneous Rocks. 1. Differentiation Index. *Amer.*



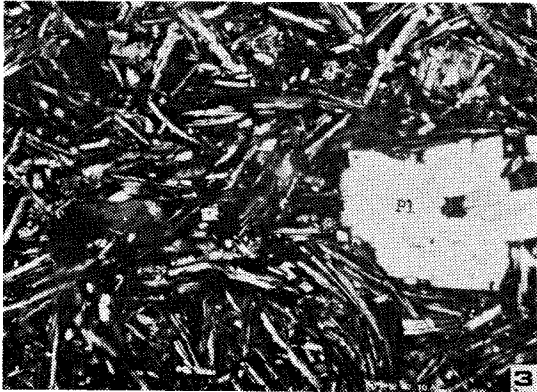
- J. Sci., V. 258, 664-684.
- Tracy, R. J. & Robinson, P. (1977) Zoned titanian augite in alkali olivine basalt from Tahiti and the nature of titanium substitutions in augite. *Amer. Min.*, V. 62, 634-645.
- Uchimizu, M. (1966) Geology and Petrology of alkali rocks from Dogo, Oki Island. *J. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Ser. II*, No. 16, 85-159.
- Yagi, K. & Gupta, A. K. (1980) On the origin of leucite bearing rocks. *J. Jan. Ass. Min. Petro. Eco. Geol., Special Issue*, No. II, 279-287.
- Yoder, Jr., H. S., ed. (1979) *The Evolution of the Igneous Rocks*. Princeton University press, Princeton, New Jersey, 588p.
- 春本篤夫(1931)鬱陵島産曹達サニヂイン岩. 小川博士曆還祝賀地學論叢(記念論文集第二部), 539-548.
- _____(1936)鬱陵島火山拋出物中に含まれたケルスウト角閃石及びビジオン輝石に就いて. 地球第十九卷第二号, 96-110.
- 久野久(1954)火山及び火山岩. 岩波全書, 東京., 255p.
- 원종관(1975)濟州島の 形成過程과 火山活動에 관한 研究. 박사학위논문. 42p.
- 李大聲(1954)울릉도의 地質. 서울大 自然科學論文第1集, 199-207.
- 李大聲, 朴鍾心(1982)울릉도産 舍白榴石粗面安山岩의 造岩鑛物에 관한 연구(미발표)



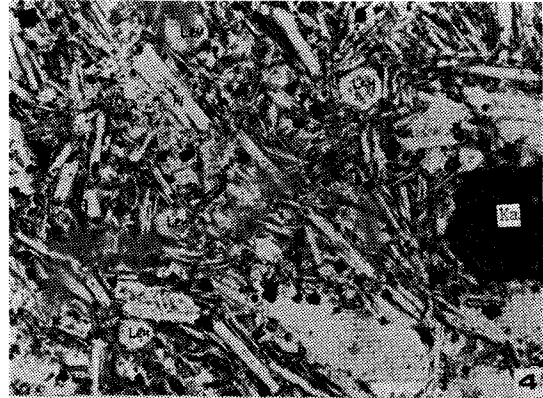
Olivine alkali basalt, (#6) +, phenocrysts: olivine (ol) altered to iddingsite partly, augite and plagioclase (pl) groundmas: plagioclase, Titan-augite (Ti-a) and glass.



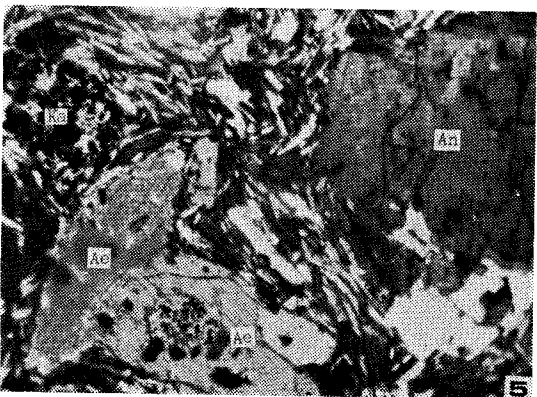
Titan-augite basalt (#106) +, phenocrysts: olivine (ol) altered to iddingsite, Titan-augite (Ti-a) in hourglass structure and plagioclase (pl), groundmas: hyalophitic texture consisting plagioclase laths filled by aggregate of Titan-augite, magnetite and glass.



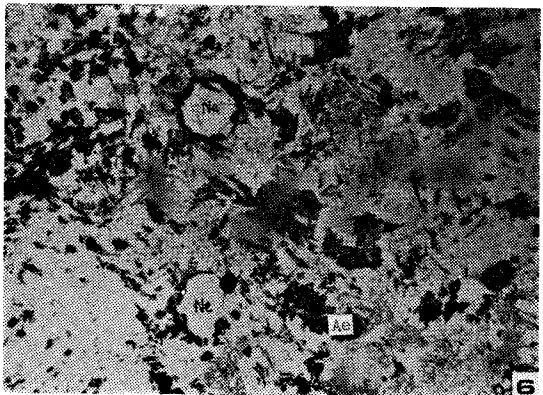
Trachybasalt, (#34) +, phenocrysts: subhedral plagioclase (pl), groundmas: slightly oriented crystal aggregate of plagioclase, lath formed alkali feldspar, Titan augite and magnetite.



Leucite bearing trachyandesite (#35) ↔, phenocrysts: Kaersutite (Ka) with opacite rim, and leucite (Leu) microcrystal forms hexagonal section and contains microlite inclusion in groundmass.



Aegirine-augite trachyte (#72) +, phenocryst: anhedral anorthoclase (An), euhedral aegirine-augite (Ae) and oxidized kaersutite (Ka), groundmas: anorthoclase in trachytic texture.



Phonolite (#94) ↔, consists mainly of aegirine-augite (Ae) in sieve texture and nepheline (Ne) in hexagonal to tetragonal forms.

